

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ПРЕССОВАНИИ

При определении энергосиловых параметров прессования и, в частности, силы прессования возникают трудности в определении мощности внутренних сил в пластической зоне очага деформации. Поскольку часть заготовки испытывает только упругие деформации, всегда возникает необходимость в установлении границы между упругой и пластической зонами в прессуемой заготовке. Доля общего усилия прессования, осуществляющего пластическое формоизменение, определяется интегрированием по объему пластической зоны

$$P_d = \int_V H \tau_s dV / v,$$

где H – интенсивность скоростей деформаций сдвига;

τ_s – сопротивление металла деформации сдвига (в общем случае τ_s есть функция координат);

V – объем пластической зоны;

v – скорость прессования.

В технологических расчетах вводят в рассмотрение среднюю по объему V пластической зоны скорость деформации ξ и оценивают P_d выражением

$$P_d = \xi \cdot \tau_s \cdot V / v.$$

Однако в любом случае знание объема V необходимо, и с достаточной точностью для практических расчетов этот объем может быть определен лишь экспериментально, в частности методом координатных сеток. Традиционная процедура замера координат узлов сетки достаточно трудоемка и малопродуктивна. Данная работа посвящена автоматизации процесса анализа сеток.

Для значительного упрощения определения координат узлов сетки (как исходной, так и деформированной) работа по определению координат узлов проводится на ЭВМ. При этом используется фотография координатной сетки в цифровом виде (растрового изображения с расширением 1024x768).

Первоначально, при работе программы, координаты узлов определяются в системе координат растрового изображения, после чего значения координат пересчитываются в реальную систему координат, заданную мерным угольником, помещенным при фотографировании в плоскость разреза образца. Так как рассматриваемая методика определения деформированного состояния включает расчет для элемента прямоугольной сетки, то точкой приложения рассчитанных параметров считается центр масс данного элемента.

Для расчета тензора деформации определяется средняя величина деформации по элементу и усредненные компоненты тензора преобразования для элемента из начального положения в деформированное.

Определяются компоненты тензора преобразования для двух векторов, соответствующих первым двум смежным точкам элемента и принятым в качестве начального базиса – (i,j) и $(i,j+1)$. При этом начало системы координат смещается в центр масс элемента (рис.1).

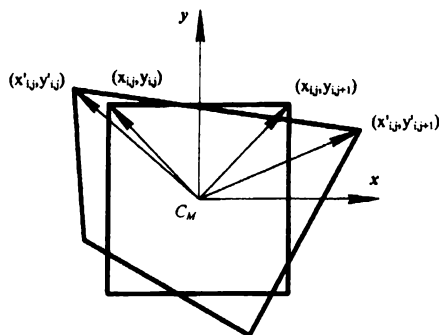


Рис. 1. Расположение осей координат при расчете тензора преобразования

Уравнение для определения матрицы тензора преобразования базиса запишется в следующем виде:

$$\begin{pmatrix} x_{i,j} & y_{i,j} \\ \bar{o}_{i,j+1} & y_{i,j+1} \end{pmatrix} \cdot T = \begin{pmatrix} x'_{i,j} & y'_{i,j} \\ \bar{o}'_{i,j+1} & y'_{i,j+1} \end{pmatrix},$$

где $T = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{pmatrix}$ – матрица тензора преобразования.

Решив это уравнение относительно T , получим выражение для определения тензора преобразования для первых двух точек элемента:

$$T_1 = \begin{pmatrix} x_{i,j} & y_{i,j} \\ \bar{o}_{i,j+1} & y_{i,j+1} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} x'_{i,j} & y'_{i,j} \\ \bar{o}'_{i,j+1} & y'_{i,j+1} \end{pmatrix}.$$

Аналогично для трех других пар точек элемента получим следующие выражения:

$$\begin{aligned} T_2 &= \begin{pmatrix} x_{i,j+1} & y_{i,j+1} \\ \bar{o}_{i+1,j+1} & y_{i+1,j+1} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} x'_{i,j+1} & y'_{i,j+1} \\ \bar{o}'_{i+1,j+1} & y'_{i+1,j+1} \end{pmatrix}; \\ T_3 &= \begin{pmatrix} x_{i+1,j+1} & y_{i+1,j+1} \\ \bar{o}_{i+1,j} & y_{i+1,j} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} x'_{i+1,j+1} & y'_{i+1,j+1} \\ \bar{o}'_{i+1,j} & y'_{i+1,j} \end{pmatrix}; \\ T_4 &= \begin{pmatrix} x_{i+1,j} & y_{i+1,j} \\ \bar{o}_{i,j} & y_{i,j} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} x'_{i+1,j} & y'_{i+1,j} \\ \bar{o}'_{i,j} & y'_{i,j} \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Для определения усредненного тензора преобразования усредним воздействие полученных четырех тензоров на единичные векторы исходного базиса:

$$T = \frac{1}{4} \cdot (E \cdot T_1 + E \cdot T_2 + E \cdot T_3 + E \cdot T_4) = \frac{1}{4} \cdot (T_1 + T_2 + T_3 + T_4).$$

Для определения тензора деформации рассмотрим результат воздействия усредненной матрицы преобразования на единичные векторы ортогонального базиса i и j , представленные вектор-столбцами $\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ и $\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ (рис.2).

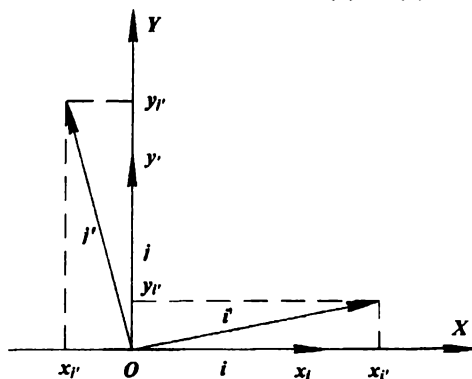


Рис. 2. Координаты базисных векторов при расчете тензора деформации

Как видно из рисунка, компоненты тензора деформации можно рассчитать следующим образом:

$$\varepsilon_{xx} = \ln\left(\frac{x_i'}{x_i}\right) = \ln(x_i'); \quad \varepsilon_{yy} = \ln\left(\frac{y_j'}{y_j}\right) = \ln(y_j'); \quad \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = \frac{1}{2}\left(\frac{y_i'}{x_i} + \frac{x_j'}{y_j}\right).$$

Из условия несжимаемости определяется компонента тензора ε_{zz} :

$$\varepsilon_{zz} = -\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}.$$

Таким образом, получаем девиатор тензора деформации вида:

$$D_\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & 0 \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{zz} \end{pmatrix}.$$

Для расчета величины степени деформации элемента используется формула

$$\Lambda = 2\sqrt{|I_2(D_\varepsilon)|} = 2\sqrt{\varepsilon_{xx}^2 + \varepsilon_{xx} \cdot \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{yy}^2 + \varepsilon_{xy}^2}.$$

Для расчета величины работы, затраченной на деформацию элемента (осесимметричного объема, определяемого данным элементом), воспользуемся следующей формулой:

$$A = \int_V \vec{A} \cdot \vec{\dot{O}} \cdot dV = \int_0^{2\pi} \int_0^R \int_0^L \tau_r \cdot \Lambda \cdot dx dr d\varphi,$$

которая, применительно к рассматриваемым дискретным осесимметричным элементам, преобразуется к виду:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \Lambda_i \cdot 2\pi \cdot R_i \cdot F_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \Lambda_i \cdot V_i,$$

где n – количество элементов сетки;

R – расстояние от центра масс элемента до оси образца;

F – площадь элемента;

V – объем, определяемый элементом;

Λ – степень деформации элемента.

Для реализации описанного выше алгоритма на языке визуального программирования Borland C++ Builder v.6.0 написана программа, предназначенная для работы с координатными сетками, нанесенными на осевой разъем цилиндрических образцов.

Общий вид рабочего окна программы приведен на рис.3.

Программа предназначена для выполнения следующих операций:

- упрощенного ввода координат исходной и деформированной сетки;
- определения степени деформации по элементам координатной сетки;
- определения работы, затраченной на деформацию введенных в программу элементов координатной сетки;
- определения границы очага деформации;
- определения средней и максимальной длины пластической зоны очага деформации;
- определения объема пластической зоны.

Возможности программы ограничены обработкой координатных сеток при осесимметричной деформации.

Ввод координат узлов координатных сеток при помощи описанной выше программы осуществляется следующим образом:

- вводятся длины опорных векторов OX и OY , представляющих собой систему координат для определения реальных размеров элементов сетки;
- посредством нажатия кнопки 7 запускается режим ввода координатных осей; в области вывода графического изображения координатной сетки 14 по изображению внутренних граней угольника курсором мыши последовательно задаются координаты точки начала координат O , координаты вектора X и вектора Y ;
- вводится количество строк и столбцов узлов координатной сетки (данные значения должны совпадать в исходной и деформированной сетке);
- посредством нажатия кнопки 8 запускаем режим ввода координат узлов координатной сетки; в области вывода графического изображения координатной сетки 14 по изображению координатной сетки курсором мыши последовательно (слева направо, от недеформированной части сетки к деформированной части, сверху вниз) задаются координаты узлов; зафиксированные координаты узлов сетки отображаются в области табличного вывода данных 2. Текущие абсолютные координаты (координаты в пикселях в системе отчета изображения), а также относительные координаты (координаты в

системе, заданной опорными векторами системы координат) текущего положения курсора мыши отображаются в области 13 окна программы.

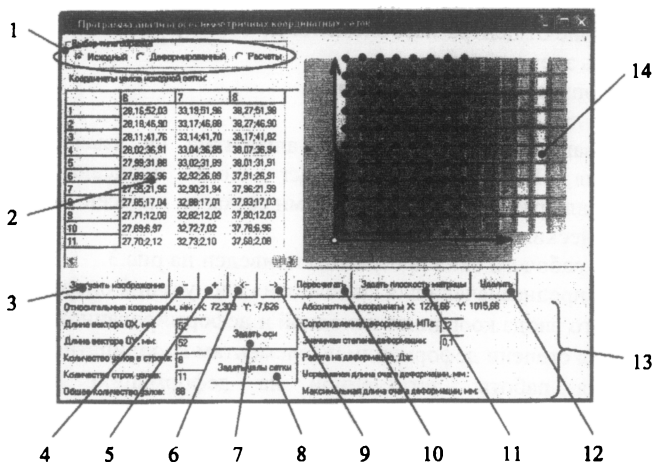


Рис. 3. Вид окна программы для анализа координатных сеток (режим ввода координат исходной сетки):

1 – область переключения задач (ввод координат исходной сетки, деформированной сетки, выполнение расчетов и вывод результатов); 2 – область табличного вывода данных; 3 – кнопка вызова диалога загрузки изображения; 4, 5 – кнопки уменьшения и увеличения масштаба изображения; 6, 9 – кнопки изменения соотношения размеров области вывода данных и области вывода графического изображения; 7 – кнопка включения режима ввода координатных осей; 8 – кнопка включения режима ввода координат узлов сетки; 10 – кнопка повторного выполнения расчетов (в режиме вывода результатов расчета); 11 – кнопка включения режима задания плоскости матрицы (в режиме ввода деформированной координатной сетки); 12 – кнопка удаления последнего введенного узла координатной сетки; 13 – область ввода исходных параметров для расчета и вывода результатов расчета; 14 – область вывода графического изображения сетки

При обработке изображения деформированной сетки определяется также плоскость матрицы. Посредством нажатия кнопки 11 запускаем режим ввода плоскости матрицы; в области вывода графического изображения координатной сетки 14 по изображению координатной сетки курсором мыши последовательно определяются две точки, прямая между которыми характеризует положение плоскости матрицы.

Рассчитанная в ходе работы программы степень деформации по элементам выводится в режиме "Расчеты" в область табличного вывода данных (рис 4). В полученном поле распределения степени деформации определяется область высоких степеней деформации со значениями выше значимой степени деформации, задаваемой в области ввода исходных параметров. Граница

области высокой степени деформации, определяющая собой также и границу очага деформации, приведена в масштабе поверх изображения деформированной сетки в области вывода графического изображения сетки (рис. 4).

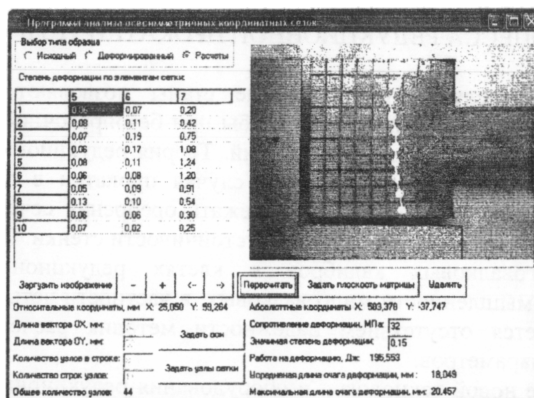


Рис. 4. Вид окна программы для анализа координатных сеток (режим вывода решения)

Программа также автоматически рассчитывает максимальную и среднюю длину очага деформации (максимальное и среднее расстояние от плоскости матрицы до границы упругой и пластической зон; объем пластической зоны (без учета объема «мертвой» зоны матрицы); мощность пластической деформации и долю силы прессования на осуществление пластической деформации.

Представленная методика и созданное программное обеспечение с успехом могут быть использованы как в научных исследованиях, так и в лабораторном практикуме студентов.